

Mandant ✓



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 33 313 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
H 01 L 29/16 ✓
H 01 L 29/15
H 01 L 29/78
H 01 L 29/732

②1 Aktenzeichen: 195 33 313.6
②2 Anmeldetag: 8. 9. 95
④3 Offenlegungstag: 13. 3. 97

Eingereicht am 14.10.1994 (A)

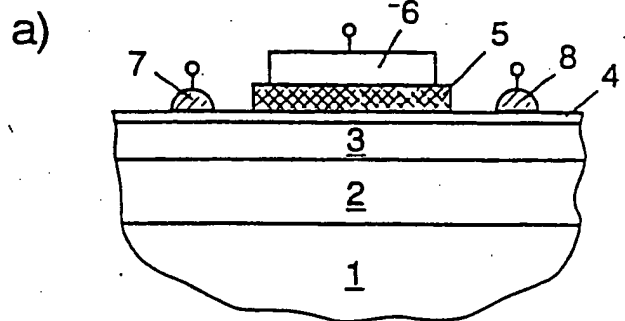
⑦1 Anmelder:
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der
Wissenschaften e.V., 80539 München, DE

⑦4 Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner, 80538 München

⑦2 Erfinder:
Eberl, Karl, 71263 Weil, DE; Brunner, Karl, Dr., 70563
Stuttgart, DE

⑤4 Halbleiterstruktur für einen Transistor

⑤7 Halbleiterstruktur für einen Transistor mit mindestens einer dotierten kristallinen Halbleiterschicht (3) aus einem Halbleitermaterial wie Silizium oder Germanium, die auf eine weitere kristalline Schicht (2) aufgebracht ist, wobei zur Verbesserung der Leitungseigenschaften die dotierte Halbleiterschicht (3) Kohlenstoff enthält, der mit dem Halbleitermaterial legiert ist, und wobei über den Anteil an Kohlenstoff im Verhältnis zum Halbleitermaterial in der aktiven Halbleiterschicht (3) eine gewünschte Verspannung eingestellt ist.



195 33 313 A 1

DE 195 33 313 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleiterstruktur für einen Transistor mit mindestens einer dotierten, kristallinen Halbleiterschicht aus einem Halbleitermaterial wie Silizium oder Germanium, die auf eine weitere kristalline Schicht aufgebracht ist.

Derartige Halbleiterstrukturen werden beispielsweise für Feldeffekttransistoren verwendet, bei denen eine p-leitende oder n-leitende Halbleiterschicht auf ein Silizium-Substrat aufgebracht ist.

Bei der Verwendung von Silizium als Halbleitermaterial in der aktiven Schicht von Feldeffekttransistoren ist zwar eine gute Elektronenbeweglichkeit gegeben, die Löcherbeweglichkeit ist demgegenüber jedoch deutlich geringer. Bei den für Halbleiterbauelemente hauptsächlich verwendeten komplementären MOS-Feldeffekttransistorschaltungen (CMOS) muß daher der p-Kanal-Feldeffekttransistor erheblich größer ausgelegt sein als der n-Kanal-Feldeffekttransistor. Dies hat zur Folge, daß die komplementären Bauelemente in integrierten Schaltungen nicht optimal zusammenpassen.

Da Germanium eine gute Löcherbeweglichkeit aufweist, wurde versucht, Silizium-Germanium-Legierungsschichten als Halbleitermaterial für p-Kanal-Feldeffekttransistoren zu verwenden. Hierzu wurden Silizium-Germanium-Schichten pseudomorph auf ein Silizium-Substrat aufgebracht. Aufgrund der stark voneinander abweichenden Gitterkonstanten von Silizium und Germanium kann aber in der Legierungsschicht nur ein geringer Germaniumanteil von etwa 30% verwendet werden, da die kritische Dicke einer Silizium-Germanium-Legierungsschicht mit einer höheren Germaniumkonzentration oder gar einer reinen Germaniumschicht so gering ist, daß eine praktische Anwendung einer solchen Struktur nicht möglich wäre. Die erreichbare Erhöhung der Löcherbeweglichkeit gegenüber Silizium ist daher relativ gering.

Auch bei n-Kanal-Feldeffekttransistoren wurde bereits versucht, die Elektronenbeweglichkeit zu erhöhen, und zwar durch Verwendung von relaxierten Silizium-Germanium-Pufferschichten zwischen dem Siliziumsubstrat und der n-leitenden Siliziumschicht. Die n-leitende Siliziumschicht wird dadurch lateral gedehnt, was zu einer Erhöhung der Elektronenbeweglichkeit führt. Die relaxierten Silizium-Germanium-Pufferschichten sind jedoch mehrere Mikrometer dick und weisen eine ungünstige Oberflächenstruktur auf, so daß ein Einsatz für integrierte Schaltungen schwierig ist.

Auch Hetero-Bipolar-Transistoren weisen die eingangs genannte Halbleiterstruktur auf, wobei sich für Bipolartransistoren vom npn-Typ Silizium-Germanium-Heterostrukturen als günstig herausgestellt haben. Nachteilig ist jedoch, daß es keine vergleichbar guten komplementären Bipolartransistoren vom pnp-Typ gibt. Weder Silizium noch Silizium-Germanium sind für Bipolartransistoren vom pnp-Typ geeignet.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Halbleiterstruktur für einen Transistor anzugeben, mit der die genannten Probleme überwunden werden können. Insbesondere soll ein p-Kanal-Feldeffekttransistor mit hoher Löcherbeweglichkeit, ein n-Kanal-Feldeffekttransistor mit erhöhter Elektronenbeweglichkeit und ein Bipolartransistor vom pnp-Typ mit den vorhandenen npn-Typen vergleichbaren Eigenschaften geschaf-

wobei der Kohlenstoff mit dem Halbleitermaterial legiert ist, und wobei über den Anteil an Kohlenstoff im Verhältnis zum Halbleitermaterial eine gewünschte Verspannung der aktiven Halbleiterschicht eingestellt ist.

Der in einer Legierung nach dem Schema $HL_{1-x}C_x$ vorhandene Kohlenstoff in der aktiven Halbleiterschicht kann entweder substitutionell in das Kristallgitter des Halbleitermaterials eingebaut sein oder als Vielschichtstruktur mit abwechselnd aufeinanderfolgenden, insbesondere wenige Atomlagen dicken Einzelschichten aus Kohlenstoff bzw. Halbleitermaterial vorliegen. Entscheidend ist, daß durch den Kohlenstoff in der aktiven Halbleiterschicht die Gitterkonstante dieser Halbleiterschicht so verändert wird, daß die Halbleiterschicht aufgrund ihrer Verbindung mit der weiteren Kristallschicht lateral gedehnt oder komprimiert wird, so daß sich in der aktiven Halbleiterschicht eine gewünschte Verspannung ergibt.

Eine Anwendung der erfindungsgemäßen Halbleiterstruktur betrifft einen Feldeffekttransistor, bei welchem als Halbleitermaterial Germanium dient und die Halbleiterschicht p-leitend ist, wobei die Halbleiterschicht insbesondere auf eine kristalline Siliziumschicht pseudomorph aufgebracht ist. Durch den Kohlenstoff in der Germanium-Halbleiterschicht wird die Gitterkonstante gegenüber einer reinen Germaniumschicht herabgesetzt. Die Gitterkonstante der Germanium-Kohlenstoff-Schicht nähert sich dadurch der Gitterkonstanten der Siliziumschicht an, auf welche sie aufgebracht ist. Bei dieser Siliziumschicht kann es sich um ein Siliziumsubstrat oder eine Siliziumpufferschicht handeln, die ihrerseits auf einem Substrat angeordnet ist.

Durch die Annäherung der Gitterkonstanten wird die Verspannung in der aktiven Halbleiterschicht reduziert, wodurch es möglich ist, eine größere Schichtdicke zu realisieren. Das heißt also, die kritische Schichtdicke ist durch die reduzierte Verspannung gegenüber einer reinen Germaniumschicht vergrößert.

Die Kohlenstoffmenge in der Germaniumschicht wird bevorzugt nur so groß gewählt, daß die kritische Schichtdicke einen Wert erhält, der die Realisierung eines p-Kanal-Feldeffekttransistors ermöglicht. Die Kohlenstoffkonzentration und die Siliziumkonzentration in der Germanium-Halbleiterschicht soll also jeweils nur so groß sein, wie es für eine ausreichende Stabilität des Bauelements bzw. eine ausreichende kritische Schichtdicke erforderlich ist, um eine möglichst gute Löcherbeweglichkeit in der Schichtebene zu erhalten.

Die Verspannung in der Germanium-Halbleiterschicht wird jedoch bevorzugt nicht vollständig kompensiert, sondern es wird eine bestimmte Verspannung eingestellt. Durch die verbleibende Verspannung wird die Löcherbeweglichkeit in der Ebene der Germaniumschicht größer ist als senkrecht hierzu, oder anders ausgedrückt, die effektive Masse der Löcher ist für eine Bewegung in der Ebene der Germaniumschicht kleiner als für eine Bewegung senkrecht zu dieser. Dadurch werden die Löcher in der Nähe des Gate konzentriert, so daß eine größere Zustandsdichte der Löcher in der Germaniumschicht ermöglicht ist.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, anstelle von Germanium eine Legierung aus Silizium und Germanium als Halbleitermaterial für den p-Kanal-Feldeffekttransistor zu verwenden. In diesem Fall kann der Germaniumanteil in der Legierung so groß gewählt werden,

ergibt, wobei gleichzeitig die kritische Dicke der Halbleiterschicht für eine praktische Anwendung aufgrund der reduzierten Verspannung ausreichend groß ist. Auch hier wird die Verspannung bevorzugt nicht vollständig kompensiert, um eine unterschiedliche Löcherbeweglichkeit in der Schichtebene und senkrecht hierzu zu bewirken.

Eine weitere Anwendung der erfindungsgemäßen Halbleiterstruktur betrifft einen n-Kanal-Feldeffekttransistor. Erfindungsgemäß wird für die n-leitende Halbleiterschicht Silizium als Halbleitermaterial verwendet, wobei diese aktive Halbleiterschicht insbesondere auf eine kristalline Siliziumschicht pseudomorph aufgebracht ist. Der Kohlenstoffanteil in der aktiven Halbleiterschicht beträgt bevorzugt zwischen ca. 0,2 und ca. 10%, entsprechend der Legierungsformel $\text{Si}_{0,9}\text{C}_{0,1}$ bis $\text{Si}_{0,98}\text{C}_{0,02}$.

Durch den substitutionell eingebauten oder in Einzelschichten einer Vielschichtstruktur vorhandenen Kohlenstoff wird die Gitterkonstante der n-leitenden aktiven Halbleiterschicht gegenüber reinem Silizium verringert. Bei Anordnung auf einer kristallinen Siliziumschicht wird die aktive Halbleiterschicht daher lateral gedehnt. Die daraus resultierende Verspannung in der aktiven Siliziumschicht hat eine Reduktion der effektiven Elektronenmasse und damit eine Erhöhung der Elektronenbeweglichkeit in der Schichtebene zur Folge. Die Elektronenbeweglichkeit senkrecht zur Schichtebene ist dagegen geringer als in der Schichtebene, so daß die Elektronen in der Nähe des Gates konzentriert sind und eine höhere Zustandsdichte der Elektronen in der aktiven Schicht ermöglicht ist.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die aktive Siliziumschicht direkt auf ein Siliziumsubstrat aufgebracht werden kann. Relativ aufwendige und teuer herzustellende relaxierte Silizium-Germanium-Pufferschichten, wie sie bisher verwendet wurden, werden also vermieden.

Als Feldeffekttransistor kann in allen geschilderten Fällen beispielsweise eine Metalloxidhalbleiter (MOS) oder ein modulationsdotierter (MOD) Feldeffekttransistor verwendet werden.

Aufgrund des relativ einfachen Aufbaus der zuvor beschriebenen p- und n-Kanal-Feldeffekttransistoren können diese vorteilhaft zu einer CMOS-Schaltung kombiniert werden, wobei in der CMOS-Schaltung entweder nur eine Feldeffekttransistorstruktur oder aber beide Feldeffekttransistorstrukturen erfindungsgemäß ausgestaltet sein können. Im zweiten Fall kann auf dem Siliziumsubstrat eine Kohlenstoff enthaltende Siliziumschicht aufgebracht sein, die einerseits als lateral gedehnte, n-leitende Halbleiterschicht für den n-Kanal-Feldeffekttransistor dient, und auf der andererseits eine Kohlenstoff enthaltende Germanium- oder Silizium-Germanium-Halbleiterschicht aufgebracht ist, die als p-leitende Halbleiterschicht für den p-Kanal-Feldeffekttransistor dient.

Zwischen der lateral gedehnten Siliziumschicht und der Germanium-Kohlenstoff- oder Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht kann darüber hinaus eine Zwischenschicht aus Silizium vorgesehen sein. Ebenso kann auf dem Siliziumsubstrat eine Siliziumpufferschicht vorgesehen sein. Die Feldeffekttransistoren können wiederum als Metalloxidhalbleiter- oder modulationsdotierter Feldeffekttransistor ausgebildet sein. Bei allen Varianten kann jeweils eine dünne Siliziumdeckschicht vorgesehen sein, um eine gute Grenzfläche zur Isolatorschicht zu gewährleisten.

Eine weitere Anwendung der erfindungsgemäßen Halbleiterstruktur betrifft einen bipolaren Transistor vom pnp-Typ, bei welchem Silizium als Halbleitermaterial dient und die Basisschicht Kohlenstoff enthält. Der Transistor weist also Heterostruktur auf.

Die n-leitende Basisschicht erhält durch den Kohlenstoff wieder eine gegenüber reinem Silizium verringerte Gitterkonstante, so daß die Basisschicht durch die Verbindung mit Emitterschicht und Kollektorschicht lateral gedehnt wird und sich in der Basisschicht eine Verspannung ergibt. Durch diese Verspannung wird wiederum die effektive Masse der Elektronen erniedrigt und deren Beweglichkeit erhöht. Dies führt zu einer Erniedrigung des lateralen Widerstandes in der Basis.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Hetero-Bipolar-Transistors besteht darin, daß ein Bandkanten-sprung im Leitungsband auftritt. Der Bandkanten-sprung im Leitungsband ergibt sich aufgrund der gegenüber den Siliziumschichten kleineren Bandlücke in der Silizium-Kohlenstoff-Schicht der Basis. Dies führt vorteilhafterweise zu einer Reduktion der Elektroneninjektion in den Emitter.

Die Kohlenstoffkonzentration in der Basisschicht kann konstant sein oder in Richtung des pnp-Übergangs einen Gradienten aufweisen. Durch einen solchen Gradienten in der Kohlenstoffkonzentration kann in der Basis ein Driftfeld erzeugt werden, welches die Löcher beschleunigt.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Hetero-Bipolar-Transistors besteht darin, daß die Halbleiterschichten im wesentlichen aus Silizium bestehen und so die klassische, gut beherrschte Siliziumtechnologie anwendbar ist. Durch die Silizium-Grenzflächen kann Siliziumdioxid als Isolator verwendet werden. Darüber hinaus weist die Silizium-Kohlenstoff-Schicht eine selektives Ätzverhalten auf, was die Herstellung des Bauelementes erleichtert.

Durch die erfindungsgemäße Halbleiterstruktur wird also ein pnp-Hetero-Bipolar-Transistor geschaffen, der zu den bekannten npn-Hetero-Bipolar-Transistoren mit Silizium-Germanium-Basisschicht komplementär ist und mit diesen vergleichbar gute Eigenschaften aufweist.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Es zeigen, jeweils in schematischer Darstellung,

Fig. 1a einen p-Kanal-MOSFET,
Fig. 1b den Bandverlauf dieses MOSFET,
Fig. 2a einen n-Kanal-MOSFET,
Fig. 2b den Bandverlauf dieses MOSFET,
Fig. 3 eine CMOS-Schaltung,
Fig. 4a einen pnp-Bipolartransistor und
Fig. 4b den Bandverlauf dieses Transistors.

Der in Fig. 1 dargestellte p-Kanal-MOSFET weist als Substrat einen Silizium-Einkristall 1 auf, auf welchem eine Siliziumpufferschicht 2 epitaktisch aufgebracht ist. Auf der Siliziumpufferschicht 2 ist eine p-leitende Halbleiterschicht 3 ebenfalls epitaktisch aufgebracht. Diese den p-Kanal des MOSFET bildende aktive Halbleiterschicht 3 besteht aus Germanium oder Silizium und Germanium mit einem Kohlenstoffanteil, wobei sowohl der Silizium- als auch der Kohlenstoffanteil möglichst gering gehalten ist, um eine möglichst gute Löcherleitung zu gewährleisten.

Der Kohlenstoff kann in der Halbleiterschicht 3 substitutionell in das Kristallgitter des Germanium bzw. der Silizium-Germanium-Legierung eingebaut sein.

andere Möglichkeit besteht darin, die Halbleiterschicht 3 als Vielschichtstruktur mit einander abwechselnden Einzelschichten aus wenigen Atomlagen von Germanium oder Silizium-Germanium und Kohlenstoff auszubilden. Die Germanium oder Silizium-Germanium-Einzelschichten können dabei beispielsweise fünf Atomlagen dick sein, während die Kohlenstoff-Einzelschicht beispielsweise nur eine Atomlage dick sein kann.

Als Abschluß kann auf der als p-Kanal dienenden Halbleiterschicht 3 eine dünne Siliziumschicht 4 vorgesehen sein, um eine gute Grenzfläche für eine Isolatorschicht aus Siliziumdioxid zu schaffen. Dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Auf der Halbleiterschicht 3 bzw., wie in Fig. 1 dargestellt, auf der dünnen Siliziumschicht 4 ist eine Isolatorschicht 5 aus Siliziumdioxid und auf dieser eine als Gate dienende Metallelektrode 6 angeordnet. Schließlich ist beidseits der Isolatorschicht 5 und der Metallelektrode 6 eine Source-Elektrode 7 und eine Drain-Elektrode 8 vorhanden.

Die Halbleiterschicht 3 aus Germanium-Kohlenstoff oder Silizium-Germanium-Kohlenstoff bildet den p-Kanal des MOSFET. Durch den Kohlenstoff wird die Gitterkonstante dieser Halbleiterschicht 3 der Gitterkonstante des Siliziums angenähert und dadurch die Verspannung in der Halbleiterschicht 3 auf einen gewünschten Wert reduziert, der einerseits eine ausreichend große kritische Schichtdicke und andererseits eine weiter erhöhte Zustandsdichte der Löcher an der Oberseite der Transportschicht gewährleistet, indem die Löcherbeweglichkeit senkrecht zur Schichtebene verringert wird, die Löcher also in der Nähe von Source- und Drainelektrode konzentriert werden.

Der Verlauf des Valenzbandes des erfindungsgemäßen p-Kanal-MOSFET ist in Fig. 1b dargestellt, wobei als Abszisse die Schichtabfolge und als Ordinate die Energie aufgetragen ist. Abschnitt 9 bezieht sich hierbei auf die Isolatorschicht 5, Abschnitt 10 auf die den p-Kanal bildende Halbleiterschicht 3 und Abschnitt 11 auf Siliziumpufferschicht 2 und Siliziumsubstrat 1. Man erkennt den Bandkantensprung zwischen Bereich 10 und 11 sowie den p-Kanal 12.

Fig. 2 zeigt einen n-Kanal-MOSFET, der vom Aufbau her weitgehend mit dem in Fig. 1 dargestellten p-Kanal-MOSFET übereinstimmt. Auf ein Siliziumsubstrat 13 folgt eine Siliziumpufferschicht 14 und hierauf eine aktive Halbleiterschicht 15, die hier jedoch n-leitend ist und neben dem Kohlenstoff Silizium als Halbleitermaterial aufweist. Auf der Halbleiterschicht 15 ist wiederum eine Isolatorschicht 16 aus Siliziumdioxid und auf dieser eine als Gate wirkende Metallelektrode 17 vorhanden. Schließlich ist auch hier beidseits der Isolatorschicht 16 und der Metallelektrode 17 eine Source-Elektrode 18 bzw. eine Drain-Elektrode 19 angeordnet.

Die Kohlenstoff enthaltende aktive Halbleiterschicht 15 bildet den n-Kanal des MOSFET, wobei der Kohlenstoff zu einer reduzierten Gitterkonstante der Halbleiterschicht 15 gegenüber einer reinen Siliziumschicht führt, so daß die auf der Silizium-Pufferschicht angeordnete Halbleiterschicht 15 lateral gedehnt wird. Aufgrund der lateralen Dehnung ergibt sich in der Silizium-Kohlenstoff-Schicht 15 eine Verspannung, die zu einer erhöhten Elektronenbeweglichkeit zwischen Source- und Drain-Elektrode 18 bzw. 19 führt. Durch die Verspannung wird zugleich die Elektronenbeweglichkeit senkrecht zur aktiven Halbleiterschicht 15 verringert, so daß eine weiter erhöhte Zustandsdichte der Leitungs-

Der Verlauf des Leitungsbandes des erfindungsgemäßen n-Kanal-MOSFET ist in Fig. 2b dargestellt, wobei wiederum als Abszisse die Schichtabfolge und als Ordinate die Energie aufgetragen sind. Der Abschnitt 20 bezieht sich auf die Isolatorschicht 16, der Abschnitt 21 auf die aktive Halbleiterschicht 15 und der Abschnitt 22 auf die Siliziumpufferschicht 14 und das Siliziumsubstrat 13. Man erkennt den Bandkantensprung zwischen den Abschnitten 21 und 22 im Leitungsband sowie den n-Kanal 23.

Fig. 3 zeigt eine CMOS-Schaltung, deren p- und n-Kanal-MOSFET's entsprechend den Fig. 1 und 2 aufgebaut sind. Auf einem Siliziumsubstrat 24 ist eine Siliziumpufferschicht 25 angeordnet, und auf dieser eine weitere Siliziumschicht 26, die n-leitend ist und bevorzugt Kohlenstoff enthält.

In der in Fig. 3 linken Hälfte ist auf der aktiven Siliziumschicht 26 eine Isolatorschicht 27 aus Siliziumdioxid und auf dieser eine Metallelektrode 28 angeordnet, die als Gate dient. Beidseits der Isolatorschicht 27 und des Gate 28 ist eine Source-Elektrode 29 bzw. eine Drain-Elektrode 30 angeordnet. Auf der in Fig. 3 rechten Hälfte der aktiven Siliziumschicht 26 ist eine p-leitende Halbleiterschicht 31 aus Germanium oder Silizium-Germanium und Kohlenstoff angeordnet. Auf dieser aktiven Halbleiterschicht 31 ist eine dünne Siliziumschicht 32 und auf dieser eine Isolatorschicht 33 aus Siliziumdioxid sowie hierauf eine Metallelektrode 34 als Gate angeordnet. Beidseits der Isolatorschicht 33 und der Gate-Elektrode 34 befindet sich eine Source-Elektrode 35 bzw. eine Drain-Elektrode 36.

Die linke Hälfte der dargestellten Transistorstruktur bildet also einen n-Kanal-MOSFET und die rechte Hälfte der Struktur einen p-Kanal-MOSFET, die bevorzugt beide in erfindungsgemäßer Weise aufgebaut sind. Sowohl die Silizium-Kohlenstoff-Schicht 26 als auch die Germanium-Kohlenstoff- bzw. Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht 31 weisen eine gewünschte Verspannung auf, die zu einer hohen Elektronen bzw. Löcherbeweglichkeit zwischen Source- und Drain-Elektrode 29, 30 bzw. 35, 36 führt. Gleichzeitig ist die Elektronen- bzw. Löcherbeweglichkeit senkrecht zu den aktiven Halbleiterschichten 26 und 31 herabgesetzt, so daß eine weiter erhöhte Zustandsdichte der Löcher bzw. Elektronen ermöglicht ist.

Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen CMOS-Schaltung besteht darin, daß der p-Kanal-MOSFET von der Größe her dem n-Kanal-MOSFET angenähert ist und mit diesem in geschickter Weise auf einem gemeinsamen Siliziumsubstrat aufgebracht werden kann. Zwischen der Silizium-Kohlenstoff-Schicht 26 und der Germanium-Kohlenstoff- bzw. Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht 31 kann dabei zusätzlich eine Silizium-Zwischenschicht vorgesehen sein. Sowohl der n-Kanal als auch der p-Kanal weisen hervorragende Transporteigenschaften auf und sind für eine praktische Anwendung ausreichend stabil.

Drei dem in Fig. 4 dargestellten erfindungsgemäßen Hetero-Bipolar-Transistor ist auf einer p-leitenden Siliziumschicht 37 eine n-leitende Silizium-Kohlenstoff-Schicht 38 und auf dieser wiederum eine p-leitende Siliziumschicht 39 epitaktisch aufgebracht. Die p-leitende Siliziumschicht 37 dient als Kollektor und ist mit einer Elektrode 40 versehen. Die Silizium-Kohlenstoff-Schicht 38 dient als Basis und weist eine Elektrode 41 auf. Die darauf angeordnete p-leitende Siliziumschicht 39 dient als Emitter und ist mit einer Elektrode 42 versehen.

Durch den Kohlenstoff in der Basisschicht 38 ist deren Gitterkonstante gegenüber reinem Silizium reduziert, so daß sich aufgrund der Verbindung mit den beiden Siliziumschichten 37 und 39 eine laterale Dehnung der Basisschicht und damit eine Verspannung ergibt, die zu einer Erhöhung der Elektronenbeweglichkeit führt. Darüber hinaus führt der Kohlenstoff in der Basisschicht 38 zu einem Bandkantensprung im Leitungsband. Dadurch wird die Elektroneninjektion in den Emitter 39 vorteilhafterweise reduziert.

Der Bandverlauf des erfindungsgemäßen Bipolartransistors ist in Fig. 4b dargestellt. Auch hier zeigt die Abszisse die Schichtabfolge, während die Ordinate das Energieniveau angibt. Der Abschnitt 43 ist der Emitter- schicht 39, der Abschnitt 44 der Basisschicht 38 und der Abschnitt 45 der Kollektorschicht 37 zugeordnet. Man erkennt den Bandkantensprung im Leitungsband zwischen Abschnitt 43 und Abschnitt 44.

Durch einen Gradienten in der Kohlenstoffkonzentration in der Basisschicht 38 in Richtung des pnp-Übergangs kann zusätzlich ein Driftfeld erzeugt werden, welches die Löcher zusätzlich beschleunigt. Die dargestellte pnp-Silizium-Kohlenstoff-Hetero-Bipolar-Transistorstruktur ist komplementär zu den bekannten npn-Silizium-Germanium-Hetero-Bipolar-Transistoren. Auch hier kann die Silizium-Kohlenstoff-Schicht sowohl als Legierung als auch als Vielschichtstruktur ausgebildet sein.

Bezugszeichenliste

- 1 Siliziumsubstrat
- 2 Siliziumpufferschicht
- 3 p-leitende Halbleiterschicht
- 4 Siliziumschicht
- 5 Isolatorschicht
- 6 Metallelektrode
- 7 Source-Elektrode
- 8 Drain-Elektrode
- 9 Valenzbandabschnitt
- 10 Valenzbandabschnitt
- 11 Valenzbandabschnitt
- 12 p-Kanal
- 13 Siliziumsubstrat
- 14 Siliziumpufferschicht
- 15 n-leitende Halbleiterschicht
- 16 Isolatorschicht
- 17 Metallelektrode
- 18 Source-Elektrode
- 19 Drain-Elektrode
- 20 Abschnitt des Leitungsbandes
- 21 Abschnitt des Leitungsbandes
- 22 Abschnitt des Leitungsbandes
- 23 n-Kanal
- 24 Siliziumsubstrat
- 25 Siliziumpufferschicht
- 26 n-leitende Halbleiterschicht
- 27 Isolatorschicht
- 28 Metallelektrode
- 29 Source-Elektrode
- 30 Drain-Elektrode
- 31 p-leitende Halbleiterschicht
- 32 Siliziumschicht
- 33 Isolatorschicht
- 34 Metallelektrode
- 35 Source-Elektrode
- 36 Drain-Elektrode

- 38 Basisschicht
- 39 Emitterschicht
- 40 Kollektorelektrode
- 41 Basislektrode
- 42 Emitterschicht
- 43 Bandabschnitt
- 44 Bandabschnitt
- 45 Bandabschnitt

Patentsprüche

1. Halbleiterstruktur für einen Transistor mit mindestens einer dotierten kristallinen Halbleiterschicht aus einem Halbleitermaterial wie Silizium oder Germanium, die auf eine weitere kristalline Schicht aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet, daß die dotierte Halbleiterschicht (3, 15, 38) Kohlenstoff enthält, wobei der Kohlenstoff mit dem Halbleitermaterial legiert ist, und wobei über den Anteil an Kohlenstoff im Verhältnis zum Halbleitermaterial eine gewünschte Verspannung der aktiven Halbleiterschicht (3, 15, 38) eingestellt ist.
2. Halbleiterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kohlenstoff substitutionell in das Kristallgitter des Halbleitermaterials eingebaut ist.
3. Halbleiterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kohlenstoff und das Halbleitermaterial in der Halbleiterschicht (3, 15, 38) als Vielschichtstruktur mit abwechselnd aufeinanderfolgenden, insbesondere wenige Atomlagen dicken Einzelschichten aus Kohlenstoff bzw. Halbleitermaterial vorliegen.
4. Feldeffekttransistor mit einer Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Halbleitermaterial Germanium dient, und daß die Halbleiterschicht (3) p-leitend ist.
5. Feldeffekttransistor mit einer Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Halbleitermaterial eine Legierung aus Silizium und Germanium dient, und daß die Halbleiterschicht p-leitend ist.
6. Feldeffekttransistor mit einer Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Halbleitermaterial Silizium dient, und daß die Halbleiterschicht n-leitend ist.
7. Feldeffekttransistor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kohlenstoffanteil in der Halbleiterschicht (15) ca. 0,2 bis ca. 10% beträgt.
8. Schaltung aus einem p-Kanal- und einem n-Kanal-Feldeffekttransistor in MOS-Bauweise, sogenannte CMOS-Schaltung, dadurch gekennzeichnet, daß der p-Kanal-Feldeffekttransistor nach Anspruch 4 oder 5 aufgebaut ist.
9. Schaltung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der n-Kanal-Feldeffekttransistor nach Anspruch 6 aufgebaut ist.
10. Schaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die den p-Kanal bildende Halbleiterschicht (31) auf einem Teilabschnitt der den n-Kanal bildenden Schicht (26) aufgebracht ist.
11. Bipolarer Transistor vom pnp-Typ mit einer Halbleiterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Silizium als Halbleitermaterial dient und die n-leitende Basisschicht (38) Kohlenstoff enthält.
12. Bipolarer Transistor nach Anspruch 11, dadurch

in der Basisschicht (38) in Richtung des pnp-Übergangs im wesentlichen konstant ist.

13. Bipolarer Transistor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoffkonzentration in der Basisschicht (38) in Richtung des pnp-Übergangs einen Gradienten aufweist. 5

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 2

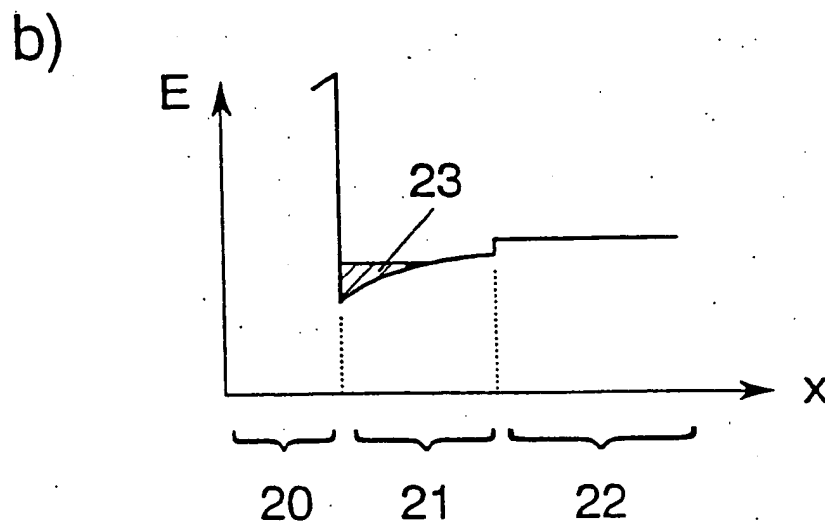
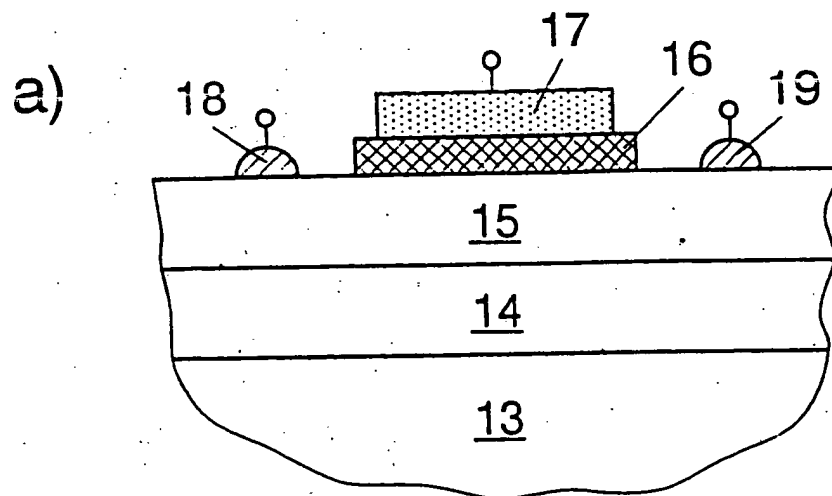


Fig. 3

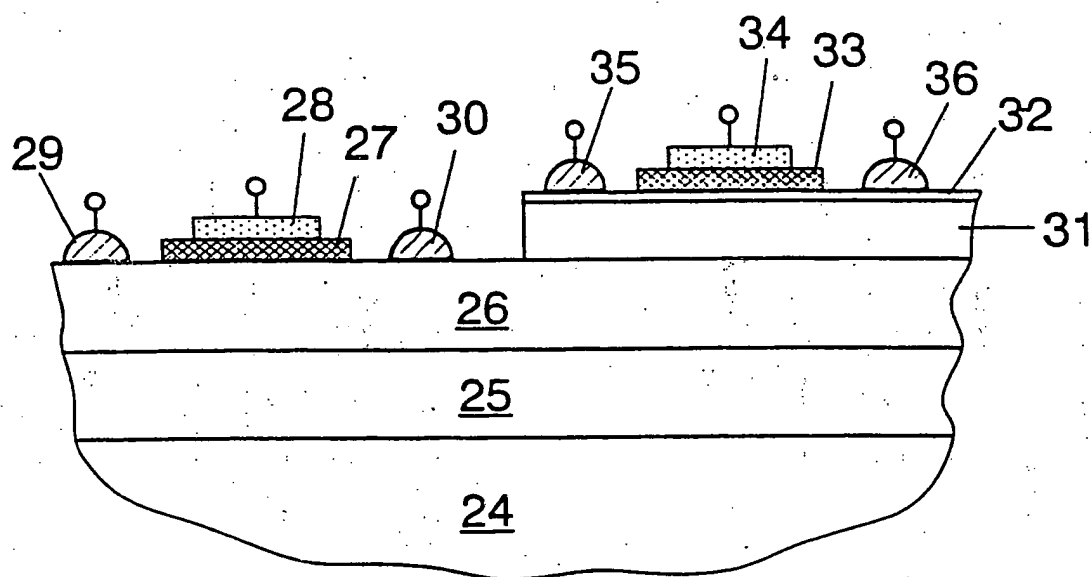


Fig. 4

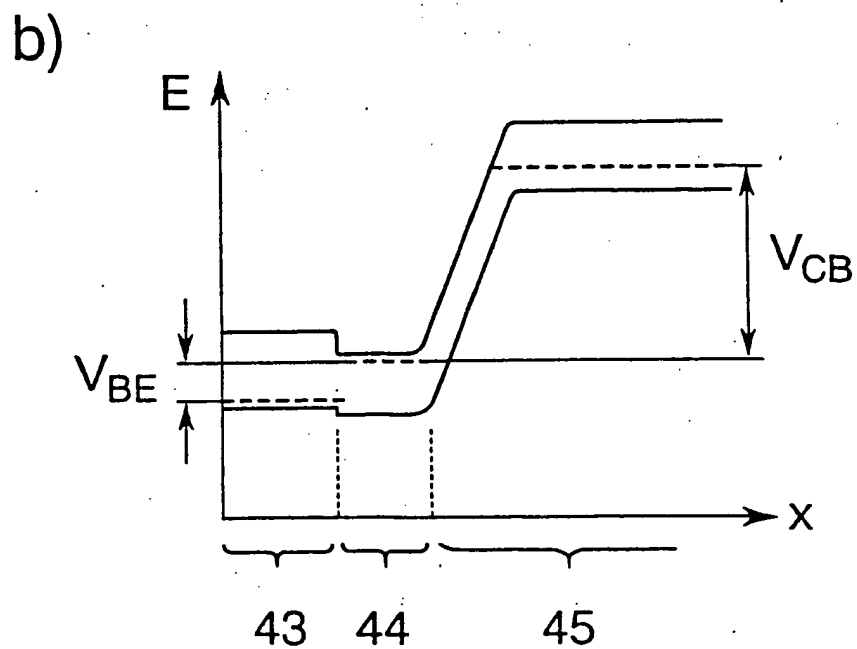
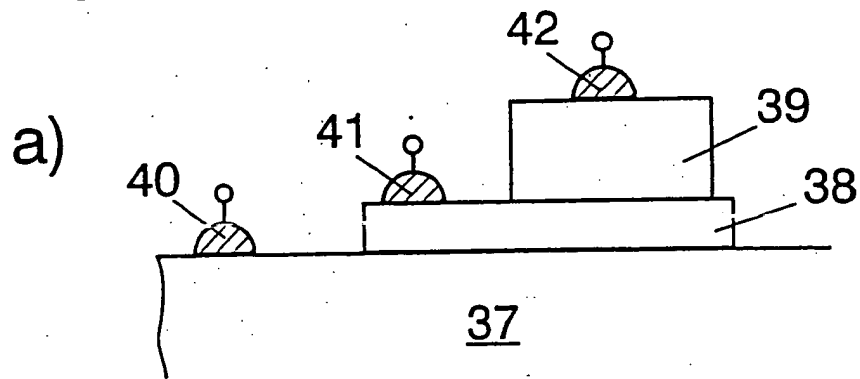


Fig. 1

